

平成 22 年 6 月 16 日現在

研究種目：若手研究 B
研究期間：2008～2009
課題番号：20700674
研究課題名（和文） 中央アジア山岳地域における最近の氷河変動と氷河湖決壊に関する現状評価
研究課題名（英文） Recent changes of glacier coverage and current state of glacier lake outburst flood in the central Asian mountains.
研究代表者
奈良間 千之 (NARAMA CHIYUKI)
総合地球環境学研究所 研究部 プロジェクト研究員
研究者番号：50462205

研究成果の概要（和文）：

中央アジアの天山山脈において、1970 年以降の氷河の面積変化と氷河湖発達の現状を衛星データと現地調査から評価した。天山山脈の山岳氷河は、過去 40 年間で縮小傾向であり、その縮小の程度は地域的な偏りが大きい。もっとも縮小が著しい地域は降水量が多く、山脈高度も低い天山山脈外縁部のプスケム地域であった。氷河湖も同様に、天山山脈外縁部で発達が著しく、最近見られる氷河湖のほとんどは 1980 年代以降に出現したものであった。天山山脈北部地域の氷河湖は、氷河湖決壊洪水が多発した 1970 年代と同数にまで達しつつある。

研究成果の概要（英文）：

The current states of glaciers and glacier lakes in the Tien Shan mountains of Central Asia since 1970 were evaluated using satellite data and field survey. Satellite data showed that mountain glaciers have shrunk in the last 40 years. The glacier reduction has regional differences among the Tien Shan. The large reduction of glacier area was the outer ranges (Pskem region) of Tien Shan which has large annual precipitation and lower mountain ranges. Glacier lakes have also developed in the outer ranges and most of them appeared since the 1980s. In the northern part of Tien Shan, the number of present glacier lakes reached the same as that in the 1970s as many GLOF occur frequently.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
21 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学・リモートセンシング

キーワード：氷河変動，氷河湖，天山山脈，リモートセンシング，水資源，氷河災害

1. 研究開始当初の背景

(1) IPCC(2001)の報告書によると、近年の気候変化により世界中の山岳氷河が縮小傾向にある。ユーラシア内陸部の乾燥・半乾燥地域に位置する中央アジアでは、氷河は重要な水資源の役割を担う。人々がくらす平野部のほとんどの水は山岳地域から供給されるため、その主要な供給源である氷河の縮小は下流部のオアシス地域に大きな影響を及ぼすことが予想される。氷河の縮小は、人々の生活用水、産業用水、農業の灌漑用水の減少を導き、上流部では氷河湖決壊などの大きな災害も懸念されることから、中央アジアの最近の氷河変動の現状把握は大至急明らかにすべき課題である。

(2) 最近報告されている氷河湖決壊洪水といえばヒマラヤ地域が注目されているが、天山山脈でも数回の氷河湖決壊洪水が生じ、下流に大きな被害を与えている(Baimoldaev and Vinohodov, 2007)。1963年にイリ・アラト山脈のエシク谷で起きた氷河湖決壊では多くの犠牲者が出て、下流にある家屋も破壊された。衛星データでも天山山脈に発達する多くの氷河湖を確認することができる。その中には氷河が氷河湖と接する非常に危険な氷河湖も含まれている。これら氷河湖の発達は、近年の急速な氷河縮小によるものと考えられ、決壊の危険性や防災対策を考えると早急に氷河湖決壊の危険度を評価する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、同時期に撮影された時代の異なる衛星データを用いて、天山山脈の降水機構の異なる5つの山岳地域を対象に、最近の氷河の面積変化を計測・広域で比較

し、近年の温暖化による天山山脈の氷河変動の現状を明らかにすることを目的とする。

(2) 天山山脈における氷河湖の地域的な分布の違いを把握するため、氷河変動で対象とした5つの山岳地域で氷河湖数と面積変化を計測する。また、衛星画像解析から決壊の危険度が高いと判断された氷河湖に対し現地調査(GPS測量、物理探査、自動気象観測機器の設置)をおこなう。そして、これらアプローチからこの地域の氷河湖の発達状況や氷河湖決壊洪水の要因など、氷河湖と決壊洪水に関する特徴を把握することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 氷河の面積変化の計測には、同時期に撮影された衛星画像を用いる。使用した衛星データは、1968-1971年に撮影された米国偵察衛星写真のCorona KH-4Bと1999-2002年に撮影された衛星画像のLandsat、2006-2008年に撮影されたALOS/PRISM-AVNIR-2である。2000年に観測されたSRTMの数値標高モデル(DEM)と1/50,000地形図を用いて、画像の歪み補正をおこない、ArcGIS 9.3で氷河のポリゴンデータを作成する。本研究の対象地域は、プスケム・タラス地域、イリ・クンゴイ地域、テスケイ地域、アトバシ・フェルガナ地域である。

(2) 氷河湖の計測は、プスケム・タラス地域、イリ・クンゴイ地域、テスケイ地域、アトバシ・フェルガナ地域を対象におこなった。1968-1971年に撮影された米国偵察衛星写真のCorona KH-4Bと2006-2008年に撮影されたALOS/PRISM-AVNIR-2を用いる。過去の氷河湖決壊洪水の状況を調べるため、決壊が頻繁に生じたイリ・クンゴイ地域を対象に、

過去の氷河湖と下流部の洪水面積を調べる。また、現地災害関係機関での資料収集をおこなう。

(3) 現地調査では、2008年に決壊したズンダン西氷河湖周辺でGPS測量や聞き取りなどの現地調査をおこなった。2009年に決壊したタクルートル氷河湖前面では、地中レーダー、表面波探査などの物理探査、広域で10の氷河湖を訪れ、ブータンの氷河湖調査でもおこなった危険要因（氷河との接触、漏水、埋没氷の存在の有無等）の現地調査をおこなった。

4. 研究成果

(1) 天山山脈の氷河面積変化を1970～2000年の約30年間で比較したところ、最も縮小が大きい地域は縮小したプスケム・タラス地域（19%）であった。次いで、イリ・クンゴイ地域の12%であった。一方、乾燥した内陸部では、テスケイとアトバシ地域で9%であり、氷河縮小は天山山脈の山岳外縁部で大きい結果であった。この理由として、山岳外縁部では、降水量が多く氷河の質量交換量が多い、山脈の高度が低く気温の影響を強く受けることがあげられる。特にプスケム地域は小規模な氷河分布しており、近年の気温上昇に素早く応答した結果と考えられる。また、氷河の融氷水は6～8月に流出するため、夏季の流量変化に大きく影響する。プスケム地域は夏が乾季であり、氷河縮小による将来的な夏季の流量への影響は大きいと考えられる。一方、同じ山岳外縁部のイリ・クンゴイ地域は12%の縮小だが、氷河面積は他の地域に比べ非常に大きく、下流部にはアルマトゥの大都市もあり、将来的に氷河縮小が与える影響は大きいと考えられる。

(2) 2006～2008年の衛星データを用いて、

天山山脈全域の氷河湖分布を調べたところ、氷河変動が大きい山脈外縁部で顕著に見られる。イリ・アラトーとクンゴイ・アラトー山脈では248の氷河湖、テスケイ・アラトー山脈西部では36の氷河湖を確認した。調査地域の氷河湖タイプは、氷河前面のデブリで覆われたデッドアイス上に発達したサーモカルスト湖、氷河と接したモレーンダム湖に分類できる。イリ・アラトーとクンゴイ・アラトー山脈の氷河湖の面積分布では、0.001-0.005 km²の氷河湖数は全体の6割を占める。このサイズのほとんどがデッドアイス上に形成されたサーモカルストタイプの氷河湖であることを確認した。

テスケイ・アラトー山脈の氷河湖数は、山岳外縁部のイリ・アラトーとクンゴイ・アラトーに比べて少ない。計測した36の氷河湖のうち、2000年以降に拡大した氷河湖はわずか4つだった。この地域の1971～2002年の氷河面積の縮小は8%であり、山岳外縁部のイリ・アラトーとクンゴイ・アラトー山脈の12%に比べて小さい(Narama et al., 2010)。しかしながら、この地域では2000～2008年に5つの小規模な氷河湖決壊が生じている。この結果は、氷河湖の発達速度に関係なく、氷河湖が存在すれば決壊洪水のリスクがあることを示す。調査地域における1970年代以降の氷河湖の最大拡大速度は0.005 km²/yearであり、巨大な氷河湖が多く存在するヒマラヤの山岳地域の0.015-0.03 km²に比べるとかなり小さい。

この地域で現在観察できる氷河湖のほとんどは1980年代以降に出現しており、氷河縮小が大きい場所で氷河湖の出現率が高い傾向にある。イリ・アラタウ山脈北面において1970年代に大規模な氷河湖決壊洪水(GLOF)を発生させた氷河湖の面積は0.01～0.05 km²であった。この面積はヒマラヤに比べるとかなり

小規模であるが、数名の犠牲者と家屋や道路などの建設物に被害がでている。現在、この面積の氷河湖の数は決壊が集中した1970年代と同数に達しており、決壊する危険性の高い氷河湖が存在しはじめています。

(3) 2008年7月24日にキルギスタン北西部のテスケイ・アラトー山脈のズンダン西氷河湖で決壊洪水が生じた。衛星データと3回の現地調査から、この氷河湖はわずか2カ月半で出現し、決壊したことが分かった。氷河湖の水は、氷河湖を堰き止めるアイスコールドモレーン内部の水路から排水された。短期間での氷河湖形成の要因として、冬季の水路の凍結や内部崩壊により水路が塞がったこと、氷河末端部の氷河表面が急激に低下し、盆地状の地形を形成したこと、2008年6~7月の融解量が2006~2009年の中でも非常に高かったことがあげられる。この地域は、モレーンの崩壊や氷河雪崩などのヒマラヤの氷河湖決壊の要因とは異なる。

キルギス・アラトー山脈のタクルトール氷河湖では、2009年7月と9月に現地観察、GPS測量、地中レーダー探査、表面波探査をおこなった。地中レーダーの結果は、反射の弱い（コントラストが暗い）氷河と反射の強い（コントラストが強い）基盤との境界が6~10m付近に明瞭に確認できる。2~3m付近に水平方向に現れている反射の強い線については、表面波探査の結果を参考に推測すると固さの違う氷の境界線が現れていると考えられる。これら結果から、氷河前面のデッドアイス下部6~10mの厚さで氷河氷が残っているかということがわかった。また、数箇所デッドアイス下部にある幅10mほどの水路を確認した。この水路は、地中レーダーの結果と同様にデッドアイス上部から5~10m下部のところに形成されていた。この水路の長さは600mあり、多くの水が氷河内部に貯水されて

いると考えられる。詳細な調査結果は現在解析中である。その他、イリ・アラトー、テスケイ・アラトー、キルギス・アラトー、タラス山脈にある現在拡大しつつある8つの氷河湖でGPS測量と現地観察をおこなった。

(4) 今後の展望

本研究で作成した氷河湖データベースをもとに氷河湖目録の作成に取り組む。また、現地関係機関と協力し、データベースを有効利用していく道を模索する必要がある。今後は、現地調査で作成した湖盆図から氷河湖の体積を求め、洪水解析モデルを用いて下流部の被害範囲やその被害の特徴を調査する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6件)

- ① Narama, C., Duishonakunov, M., Kääh, A., Daiyrov, M., Abdrakhmatov, K. 2010 The 24 July 2008 outburst flood on the western Zyndan glacier lake and recent regional changes in glacier lakes of the Teskey Ala-Too range, Tien Shan, Kyrgyzstan. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(4) :647-659. (査読付) .
- ② Narama, C., Kääh, A., Duishonakunov, M., Abdrakhmatov, K. 2010 Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data. *Global and Planetary Change* 71 :42-54. (査読付) .
- ③ 奈良間千之, 藤田耕史, Duishonakunov, M., 梶浦岳, Ormov, C., Daiyrov, M.,

Usubaliev, R., Abdraev, J., Shatravin, V. 2010年04月 2006~2009年のチョング・クズルスー川流域における氷河融解量観測. オアシス地域研究会報 8(1):97-104.

- ④ Narama, C., Duishonakunov, M., Sobr, M., Engel, Z., Cerny, M., Daiyrov, M., Käab, A., Abdrakhmatov, K. 2009年08月 Glacier lake outburst flood in the western Zyndan glacier, Ysyk-Köl region, Kyrgyzstan on 24 July 2008. Proceedings of Mitigation of Natural Hazards in Mountain Areas: 62-63.
- ⑤ Narama, C., Severskiy, I., Yegorov, A. 2009 Current state of glacier changes, glacial lakes, and outburst floods in the Ile Ala-Tau and Kungöy Ala-Too ranges, northern Tien Shan Mountains. Annals of Hokkaido Geography 84:22-32. (査読付).
- ⑥ 奈良間千之, 藤田耕史 2009年03月 クルグズスタン, テスケイ・アラトー山脈における氷河流出の観測報告(2004-2008). オアシス地域研究会報 7(1).

[学会発表] (計 15件)

【口頭発表】

- ① 奈良間千之, 田殿武雄, 浮田甚朗, 山之口勤, 河本佐知, 阿部知佳, 矢吹裕伯, 藤田耕史 NEW ALOS glaciers and glacier lakes inventory and recent changes of glacier lakes in Bhutan-Himalayas. 日本地球惑星科学連合大会, 2010年05月23日-2010年05月28日, 幕張メッセ.
- ② 奈良間千之 中央アジア, 天山山脈における氷河変動と氷河湖の現状. 日本地理学会, 2010年03月27日-2010年03月28日, 法政大学.

③ Narama, C., Kicengge Environmental changes in Central Asia during the last 1000 years. workshop: human activity and climate changes in Central Asia, Feb 24, 2010, 地球研.

- ④ Narama, C., Duishonakunov, M., Sobr, M., Engel, Z., Cerny, M., Daiyrov, M., Käab, A., Abdrakhmatov, K. Glacier lake outburst flood in the western Zyndan glacier, Ysyk-Köl region, Kyrgyzstan on 24 July 2008. Mitigation of Natural Hazards in Mountain Areas, 2009年09月14日-2009年09月18日, ビシュケク, キルギスタン.
- ⑤ 奈良間千之 中央アジア, 天山山脈における最近の氷河と氷河災害の現状. 日本地球惑星科学連合大会, 2009年05月16日-2009年05月21日, 千葉県, 幕張メッセ.
- ⑥ 奈良間千之, 窪田順平 プロキシデータを用いた中央アジアの過去の環境変動. 日本地球惑星科学連合大会, 2009年05月16日-2009年05月21日, 千葉県, 幕張メッセ.
- ⑦ 奈良間千之 衛星データを用いた中央アジア, 天山山脈における最近の氷河変動. 日本地理学会春季大会, 2009年03月28日-2009年03月29日, 東京都八王子市, 帝京大学.
- ⑧ 奈良間千之 中央アジアにおける氷河変動と氷河災害の現状(気候変動分野). 第三回東京対話(中央アジア+日本), 2009年02月20日, 東京都, 外務省.
- ⑨ Narama, C. Timing of glacier expansion during the Last Glacial in the Tien Shan mountains. Pamis-Germany 80th symposium, Aug 16, 2008-Aug 18, 2008, ウズベキスタン, タシケント.

【ポスター発表】

- ⑩ Narama, C., Kääb, A., Duishonakonov, M., Daiyrov, M. Glacier lake outburst floods during 2000–2009 in the Tien Shan mountains, Central Asia. Glacier Hazards, Permafrost Hazards and GLOFs in Mountain Areas: Processes, Assessment, Prevention, Mitigation, Nov 10, 2009–Nov 13, 2009, オーストリア, ウィーン.
- ⑪ Narama, C., Duishonakunov, M., Kääb, A., Severskiy, I., Abdrakhmatov, K., Kubota, J. Remote-sensing based analysis of glacier changes and glacial lake hazards in the outer ranges of the Tien Shan mountains. International Workshop on the Northern Eurasia Mountain Ecosystems, 2009年09月10日–2009年09月13日, ビシュケク, キルギスタン.
- ⑫ Narama, C., Duishonakonov, M., Kääb, A., Abdrakhmatov, K. Outburst flood (24 July 2008) of the Zyndan glacier lake attacked the downstream area in Ysyk-Köl region, Kyrgyzstan. EGU, Apr 19, 2009–Apr 24, 2009, オーストリア, ウィーン.
- ⑬ Narama, C., Duishonakonov, M., Kääb, A., Abdrakhmatov, K. Remote-sensing based analysis of glacier change and glacier lake hazards in the outer ranges of the Tien Shan mountains. EGU, Apr 19, 2009–Apr 24, 2009, オーストリア, ウィーン.
- ⑭ Narama, C., Kääb, A., Moholdt, G., Abdrakhmatov, K. Recent change of glacier volume in the Chon-Kyzylsuu

river basin, Teskey Ala-Too range, Tien Shan mountains, using airphotos, topographic maps, and ALOS PRISM satellite stereo data. EGU, Apr 13, 2008–Apr 18, 2008, オーストリア, ウィーン.

- ⑮ Narama, C., Kääb, A., Severskiy, I., Abdrakhmatov, K. Remote-sensing based analysis of glacier lake hazards in the Tien Shan mountains associated with recent glacier shrinkage. EGU, Apr 13, 2008–Apr 18, 2008, オーストリア, ウィーン.

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 奈良間千之 2009年11月 融けゆく氷河がひきおこすもの 氷河湖災害の脅威. 「山と自然に魅せられて」研究の現場から未来への提言. 山・ひと・くらし 山岳科学ブックレット, 3. 信州大学山岳科学総合研究所, 長野県松本市, 109pp.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奈良間 千之 (NARAMA CHIYUKI)
総合地球環境学研究所研究部プロジェクト研究員
研究者番号: 50462205